



universidad de calidad...

**UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**TRABAJO DE MONOGRAFIA PREVIA LA  
OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: “PROPUESTA DEL SISTEMA DE FORTIFICACION QUE SE DEBE  
EMPLEAR A LO LARGO DE LA VETA F-10 DE LA MINA SUBTERRANEA  
LIGA DE ORO DE LA EMPRESA MINERA SOMILOR S.A.”**

**AUTORES:**

Juan Pedro Sari Chalco  
Daniel Enrique Rodas Andrade

**TUTORES:**

Dr. Ing. Roberto Cipriano Blanco Torrens  
Dr. Ing. Rafael Rolando Noa Monje

**Cuenca, 2013**

## **Resumen**

El trabajo de monografía consiste en el análisis y evaluación de los sistemas de fortificación empleados a lo largo de la veta F-10 en la mina subterránea Liga de Oro perteneciente a la Concesión minera SOMILOR S.A., ubicada en el cantón Ponce Enríquez de la provincia del Azuay. El trabajo incluye la valoración cualitativa de grado de eficiencia de los diferentes sistemas de sostenimiento y características del macizo.

Palabras clave: Sistemas de Fortificación, Mina Subterránea, SOMILOR S.A.

## **Abstract**

The monograph consist in the analysis and evaluation of systems of fortification employees along the vein F-10 in the underground mine Liga de Oro belonging to the mining concession SOMILOR S.A., located in the canton Ponce Enríquez of the province of Azuay. This work includes a qualitative assessment of degree of efficiency of the different support systems and characteristics of the massif.

Key Words: Systems of fortification, Underground Mine, SOMILOR S.A.

## Índice

RESUMEN.....	2
AGRADECIMIENTO .....	10
INTRODUCCION.....	10
CAPÍTULO 1: ESTADO DE ARTE .....	14
1.1 MARCO TEÓRICO FUNDAMENTAL .....	14
1.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	16
1.3 SITUACIÓN ACTUAL EN EL MUNDO .....	18
1.4 SITUACIÓN ACTUAL EN EL ECUADOR.....	21
CAPITULO 2: DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	25
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	25
2.2. ACCESIBILIDAD Y COMUNICACIÓN .....	26
2.3 CLIMA.....	27
2.4 DESARROLLO SOCIOECONOMICO.....	28
2.5 GEOLOGÍA.....	28
2.6. GEOLOGÍA REGIONAL .....	28
2.7. GEOLOGÍA LOCAL.....	29
2.8. GÉNESIS Y MINERALIZACIÓN .....	30
2.9 TECTÓNICA.....	31
2.10 HIDROGRAFÍA .....	32
CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DE LAS FORMAS DE SOSTENIMIENTO DE LAS EXCAVACIONES DEL SECTOR.....	33
3.1. PROPIEDADES FISICO – MECANICAS DE LAS ROCAS .....	33
3.2. CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO .....	35
3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO EMPLEADOS EN LA MINA LIGA DE ORO A LO LARGO DE LA VETA F-10.....	36
Fortificación 1 .....	36
Fortificación 2.....	36
Fortificación 3.....	38
Fortificación 4.....	39
Fortificación 5.....	41
Fortificación 6.....	42
Fortificación 7 .....	43

3.4. ANALISIS Y VALORACION DE LOS SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO EMPLEADOS EN LA MINA LIGA DE ORO A LO LARGO DE LA VETA F-10 .....	43
Fortificación 1 (3000m a partir de la entrada a la mina).....	44
Fortificación 2 (3050m a partir de la entrada a la mina).....	44
Fortificación 3 (3110m a partir de la entrada a la mina).....	44
Fortificación 4 (3150m a partir de la entrada a la mina).....	45
Fortificación 5 (3185m a partir de la entrada a la mina).....	45
Fortificación 6 (3215m a partir de la entrada a la mina).....	45
Fortificación 7 (3300m a partir de la entrada a la mina).....	45
CAPITULO 4: PROPUESTAS DE FORTIFICACIÓN .....	46
4.1. ANÁLISIS DE LAS VARIANTES DE FORTIFICACIÓN QUE SE PUEDEN EMPLEAR EN LAS CONDICIONES DE ESTUDIO.....	46
4.2 FUNDAMENTACIÓN Y DISEÑO DE LA FORTIFICACIÓN PROPUESTA.....	49
4.2.1. DISEÑO DE FORTIFICACIÓN PROPUESTA.....	50
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFIA.....	55

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Sociedades Mineras en el Cantón Ponce Enriquez. Tabla obtenida de ARCOM, agencia de regulación y control minero [1].....	22
Tabla 2: Clasificación del macizo en clases y subclases.....	35
Tabla 3: Valores empleados para el diseño de la fortificación.....	50
Tabla 4: Características de los Cementos utilizados en el Gunitado.....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vetas de cuarzo.....	21
Figura 2: Forticación común a lo largo de mina subterránea.....	23
Figura 3: Construcción de una Forticación en un punto determinado de la mina subterránea.....	24
Figura 4: Ubicación de la Mina Liga de Oro.....	25
Figura 5: Ruta desde Cuenca hasta Pasaje.....	26
Figura 6: Mapa de acceso desde el Cantón Ponce Enríquez al Rencito La López y hasta la mina Liga de Oro.....	27
Figura 7: Mapa Geológico Regional.....	29
Figura 8: Geología Local de SOMILOR S.A.....	30
Figura 9: Mapa Tectónico de la zona.....	31
Figura 10: Mapa Hidrológico SOMILOR S.A.....	32
Figura 11: Macroscopia (Muestra A).....	33
Figura 12 Macroscopia (Muestra B).....	34
Figura 13: Fortificación de Hormigón Lanzado.....	36
Figura 14: Anclaje de varillas.....	37
Figura 15: Distribución de las caravanas.....	38
Figura 16: Avanzado estado de Oxidación de los elementos de la fortificación.....	39
Figura 17: Forma de sección de la Fortificación.....	39
Figura 18: Cimiento apoyado en la pared de la excavación.....	40
Figura 19: Unión de las anclas a los elementos de la fortificación mediante soldadura	40
Figura 20: Varillas empotradas al techo de la excavación, donde se suelda el techo de la fortificación.....	41
Figura 21: Fortificación metálica trapezoidal.....	41
Figura 22: Distribución uniforme de las caravanas entre el macizo y la fortificación ....	42
Figura 23: Fortificación de anclas.....	42
Figura 24: Fortificación de Hormigón Armado.....	43
Figura 25: Avanzado estado de erosión sobre la base del cimiento.....	45
Figura 26: Esquema de una fortificación protectora de hormigón lanzado.....	51
Figura 27: Sección de la fortificación de hormigón lanzado.....	53



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Juan Pedro Sari Chalco, autor de la tesis **"PROPUESTA DEL SISTEMA DE FORTIFICACION QUE SE DEBE EMPLEAR A LO LARGO DE LA VETA F-10 DE LA MINA SUBTERRANEA LIGA DE ORO DE LA EMPRESA MINERA SOMILOR S.A."**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 18 de Septiembre de 2013

Juan Pedro Sari Chalco  
0105287585

---

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*  
Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316  
e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103  
Cuenca - Ecuador



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Daniel Enrique Rodas Andrade, autor de la tesis "**PROPUESTA DEL SISTEMA DE FORTIFICACION QUE SE DEBE EMPLEAR A LO LARGO DE LA VETA F-10 DE LA MINA SUBTERRANEA LIGA DE ORO DE LA EMPRESA MINERA SOMILOR S.A.**", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afeción alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 18 de Septiembre de 2013

Daniel Enrique Rodas Andrade  
0104856851

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316  
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103  
Cuenca - Ecuador



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Juan Pedro Sari Chalco, autor de la tesis **"PROPUESTA DEL SISTEMA DE FORTIFICACION QUE SE DEBE EMPLEAR A LO LARGO DE LA VETA F-10 DE LA MINA SUBTERRANEA LIGA DE ORO DE LA EMPRESA MINERA SOMILOR S.A."**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 18 de Septiembre de 2013

Juan Pedro Sari Chalco  
0105287585

---

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316  
e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103  
Cuenca - Ecuador





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Daniel Enrique Rodas Andrade, autor de la tesis **"PROPUESTA DEL SISTEMA DE FORTIFICACION QUE SE DEBE EMPLEAR A LO LARGO DE LA VETA F-10 DE LA MINA SUBTERRANEA LIGA DE ORO DE LA EMPRESA MINERA SOMILOR S.A."**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 18 de Septiembre de 2013

Daniel Enrique Rodas Andrade  
0104856851

---

*Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999*  
Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316  
e-mail [cdjbv@ucuenca.edu.ec](mailto:cdjbv@ucuenca.edu.ec) casilla No. 1103  
Cuenca - Ecuador

## AGRADECIMIENTO

Primero agradecemos a Dios, a nuestros padres por su incondicional apoyo a lo largo de nuestra carrera y a nuestros tutores Ing. Roberto Blanco, PhD., Ing. Rafael Noa, PhD. por su ayuda en el correcto desarrollo de esta monografía.

## INTRODUCCION

A nivel mundial históricamente, la explotación subterránea de minerales ha sido considerada como una de las actividades más riesgosas que realiza el hombre. Impactantes accidentes, con centenares de muertos, han avalado tal aseveración. Es frecuente ver en la prensa tragedias que enlutan a la minería mundial. Son muchos los factores de riesgos presentes en las faenas subterráneas. Las características de la roca, el uso de explosivos, la presencia de gases tóxicos o inflamables, el empleo creciente de máquinas y equipos, la presencia de aguas subterráneas, las probabilidades siempre latentes de incendios, etc., conforman un espectro de riesgos de alto potencial de severidad. A lo anterior debe adicionarse los errores de diseño o ejecución de los propios mineros.

El reciente crecimiento de la minería subterránea en el Ecuador ha provocado que las cooperativas mineras existentes en nuestro país extraigan el mineral sin tomar en cuenta el comportamiento del macizo rocoso existente alrededor de la zona de explotación, lo que trae consigo que la instalación de sistemas de sostenimiento se haya venido realizando de una forma empírica disminuyendo de esta manera la eficiencia en los procesos de laboreo e incrementando el grado de riesgo para los equipos y trabajadores ubicados en la zona de extracción del mineral haciendo más vulnerable a accidentes típicos en la minería subterránea.

La importancia de los trabajos de fortificación y sostenimiento en minería subterránea se debe a la seguridad que estos proporcionan al personal, maquinaria y equipo. Además puede ser considerado el método más efectivo, y en algunos casos el único, para garantizar las dimensiones requeridas para la excavación y satisfacer al mismo tiempo las necesidades de producción en el periodo de explotación minera.

El diseño de una excavación subterránea, que es una estructura de gran complejidad, es la medida para el diseño de los sistemas de fortificación (sostenimiento). El objetivo principal del diseño de los sistemas de refuerzo para excavaciones subterráneas, es de ayudar al macizo rocoso a soportarse, es decir, está orientado a controlar la caída de rocas, vigilar riegos de

accidentes a personas y equipos. El diseño del sostenimiento de una excavación subterránea es un campo especializado, el procedimiento de diseño para el sostenimiento de terrenos por lo tanto tiene que ser adaptado a cada situación o yacimiento

Su dimensionamiento debe ser tal que permita obtener una mayor área útil a fin de satisfacer las necesidades de los procesos de laboreo.

Es por ello que para su elección la principal consideración a ser tomada en cuenta en la elección de un tipo de fortificación son las cargas que actúan sobre las excavaciones subterráneas, tanto en lo que se refiere en su magnitud, como al tiempo en que actúan, aspectos que en la mayoría de las zonas de explotación del Ecuador no son tomadas en cuenta.

Su elección debe ser tal que satisfaga exigencias técnicas, productivas y productivas.

- Exigencias técnicas:
  - ✓ Resistente, es decir debe estar diseñada para soportar la carga que sobre ella va a actuar.
  - ✓ Estable: Debe conservar su forma aún bajo la acción de las cargas.
  - ✓ Duradera: La vida útil debe estar en función de la vida de servicio de la excavación.
- Exigencias de producción:
  - ✓ Menor resistencia posible al paso del aire.
  - ✓ Debe ocupar el menor área posible.
  - ✓ Debe ser segura ante el peligro de incendios.
- Exigencias de económicas:
  - ✓ El costo y los gastos de mantenimiento deben ser mínimos.

Con respecto a la valoración económica debemos señalar que los trabajos de fortificación de las excavaciones mineras son en la actualidad los más caros, laboriosos y menos mecanizados de todos los ciclos de laboreo, por eso es sumamente importante, si es necesario fortificar una excavación elegir correctamente la construcción de la fortificación, la cual no debe ser

solamente económica sino que además asegure las condiciones de trabajo en la excavación, durante el transcurso de todo el plazo de servicio.

### **OBJETO DE ESTUDIO**

Los sistemas de fortificaciones localizados a lo largo de la veta F-10 en la mina subterránea Liga de Oro

### **SITUACIÓN PROBLÉMICA**

La minería tradicional en el Ecuador se basa en la extracción del mineral sin tomar en cuenta el comportamiento ni las características del macizo rocoso que existe en la zona; además el diseño de los sistemas de explotación y sostenimiento son empíricos. Sin embargo con el desarrollo minero que experimenta el país surge la necesidad del empleo de técnicas de explotación que permita generar altos rendimientos de producción garantizando un nivel mínimo de seguridad para los trabajadores.

### **PROBLEMA**

En el caso particular de la mina Liga de Oro en el cantón Ponce Enriquez de la provincia del Azuay, la presión existente sobre la excavación a lo largo de la veta F-10 provoca problemas de inestabilidad que se manifiesta en forma de constantes caídas de material rocoso, representando esto un peligro en la labores mineras que en ellas se realiza. Los sitios fortificados a lo largo de la mina fueron instalados cuando se empezó a manifestar las condiciones de inestabilidad mediante desprendimientos de roca más no conforme al avance de la excavación durante los trabajos de laboreo y con el respectivo que ello requiere.

### **OBJETIVO GENERAL**

- Proponer el sistema de fortificación que más se ajusta en la mina subterránea Liga de Oro a lo largo de la veta F-10.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar la calidad y condición de estabilidad del macizo.
- Análisis de los sistemas de fortificaciones usadas.

## **HIPÓTESIS**

Si se realiza el estudio de las características geoestructurales y mecánicas del macizo, se puede elegir el tipo de fortificación que más se ajuste al sitio de estudio.

## **RESULTADOS ESPERADOS**

Obtener un diseño de fortificación seguro, confiable y económico a ser aplicado en los puntos más vulnerables a lo largo de la veta F-10 de la mina Liga de Oro.

## **PLANIFICACION DE LA INVESTIGACION**

Se empleará el método de investigación exploratorio mediante visitas a cada punto de fortificación en la mina, donde se analizara las características geo mecánicas del macizo circundante y estado actual de las condiciones de tales fortificaciones.

Primera etapa: Estudio de la información relacionada con el diseño de sistemas de sostenimiento en excavaciones subterráneas. Definición del Objeto de estudio.

Segunda etapa: primera salida de campo, definir los puntos a ser estudiados a lo largo de la veta F-10 en la mina Liga de Oro de la empresa SOMILOR S.A.

Tercera etapa: Análisis de los resultados obtenidos en los trabajos de campo.

Cuarta etapa: En una segunda salida hacia la mina Liga de Oro se hace la valoración de los diferentes tipos de fortificación justificando su correcto uso o por el contrario sugerir medidas correctivas en caso de ser necesario.

Quinta etapa: Propuesta del sistema de sostenimiento que más se adapte a las condiciones existentes en el sitio de estudio.

## CAPÍTULO 1: ESTADO DE ARTE

### 1.1 MARCO TEÓRICO FUNDAMENTAL

A lo largo del presente trabajo de monografía se emplean términos exclusivos de minería, es por eso que para un mejor entendimiento del “Manual de Minería” [8], se definen términos claves.

**Afloramiento:** Minerales o rocas que se encuentra en la superficie plenamente visibles.

**Agua de drenaje de la mina:** Aguas freáticas que se bombean a la superficie de las minas. Generalmente, el agua drenada requiere tratamiento hasta alcanzar un tenor neutro antes de liberarla al ambiente natural.

**Anclajes de roca:** Acto de apoyar aperturas con pernos de acero anclados en hoyos perforados especialmente con este fin.

**Bocamina:** Boca o entrada de una mina, usándose sobre todo en plural bocaminas.

**Calicata:** Sondeo superficial para reconocer estructuras.

**Cizallamiento:** Deformación de rocas por movimiento lateral a lo largo de innumerables planos.

**Clivaje:** Es la propiedad física más importante que tienen los minerales, según la cual éstos se separan en láminas paralelas, siguiendo la dirección de caras cristalinas. Esta propiedad también es conocida con el nombre de EXFOLIACION.

**Concesión minera:** Derecho minero que otorga la facultad de explotar un determinado yacimiento minero, emerge de un título consentido— Resolución Jefatura. Bien inmueble distinto del predio en el que se encuentra ubicado y es además un sólido de profundidad indefinida, limitado por planos verticales cuyos vértices están referidos a coordenadas UTM.

**Falla:** Resquebrajadura en la corteza terrestre por fuerzas tectónicas, que separaron a la roca; las fallas pueden extenderse por muchos kilómetros o tener apenas algunos centímetros de longitud; análogamente, el movimiento o desplazamiento a lo largo de la falla puede variar enormemente.

**Galería de acceso:** Galería horizontal abierta al extremo de una montaña o colina para permitir el acceso al yacimiento. Generalmente es conocida como túnel.

**Laboreo:** Son los diversos métodos de extraer rocas y minerales, se diferencian según el sistema de arranque y la configuración del espacio vacío dejado por la explotación.

**Mecánica de rocas:** Ciencia que se ocupa del estudio de las propiedades mecánicas de las rocas, que incluye condiciones de tensión alrededor de las galerías y la capacidad de las rocas, y de las estructuras subterráneas de soportar estas tensiones.

**Minería subterránea:** Según Erik Muñoz del Pino en su publicación "Riesgos en la minería subterránea", [7] es la técnica utilizada para recuperar minerales de los yacimientos situados por debajo de la superficie terrestre. Para tal fin, la minería subterránea necesita un sistema de excavaciones que permita llegar a las zonas de minerales contenidos en la roca.

**Nivel:** Galerías horizontales de un frente de trabajo existente en una mina; es usual trabajar las minas desde un pozo, estableciendo niveles a intervalos regulares, generalmente con una separación de 50 metros o más.

**Oxidación:** Reacción química provocada por la exposición al oxígeno modificando la composición química de un mineral.

**Techo:** Techo de una galería subterránea.

**Veta:** Fisura, falla o rajadura de una roca llena de minerales que migraron hacia arriba, proveniente de alguna fuente profunda.

**Vetas:** Cuerpos de mineral en forma alargada, limitados por planos irregulares de rocas denominadas "cajas". Generalmente una veta es muy parada o vertical. Cuando la veta aparece tendida o echada en el Perú se le llama "manto".

**Veta o filón:** Depósito de mineral con una roca sólida.

**Veta provechosa:** Parte o segmento de veta u otra estructura del mineral valioso transportado en suficiente cantidad para ser extraído con ganancias.

**Yacimiento:** Es un lugar donde se encuentra un fósil o un mineral. Normalmente se restringe al sentido de yacimiento, identificándolo con el yacimiento metalífero entendiendo por ello toda acumulación o concentración de una o más sustancias útiles que pueden ser explotadas económicamente.

**Zona:** Área de una mineralización bien definida.

## 1.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### Definición de fortificación:

De acuerdo al artículo “Fortificación de minas” [9], “La fortificación de minas es una construcción artificial que se hace en las excavaciones subterráneas para prevenir la destrucción de las rocas circundantes y preservar las dimensiones de la sección transversal. La fortificación de minas, como una obra más de ingeniería, debe satisfacer una serie de exigencias técnicas, productivas y económicas.”

Según el “Manual de Fortificaciones mineras” [8], se define con fortificaciones de excavaciones subterráneas a “El sostenimiento o fortificación tiene por objeto mantener abiertas las labores durante la explotación, compensando la "condición inestable" de la masa de roca que soporta. En la mayoría de los casos, solamente es necesario que las labores mineras permanezcan abiertas durante períodos de tiempo relativamente cortos. Por ello la función de las fortificaciones es retrasar el reajuste de las masas de rocas, más que asegurar un sostenimiento permanente. Pero si fallara antes que las labores puedan ser abandonadas será preciso sustituirlos.”

### Clasificación de la Fortificación:

De acuerdo a “Fortificación de excavaciones subterráneas” [3], Existen numerosas clasificaciones de la fortificación de las excavaciones subterráneas, algunas de las cuales se mencionan:

- ✓ Según el uso que tengan: Fortificación de excavaciones mineras, fortificación de túneles de transporte, fortificación de excavaciones hidrotécnicas etc.
- ✓ Según su vida de servicio: Fortificación temporal, fortificación permanente.



- ✓ Según el material de que estén hecha: De madera, metálicas, de piedra, de hormigón, de hormigón armado y con el empleo de diferentes combinaciones de materiales.
- ✓ Acorde a las soluciones constructivas:
  - 1) Según la forma de la construcción en la excavación (rectangular, trapezoidal, poligonal, con techo abovedado, con bóveda invertida por el piso, elípticas).
  - 2) Según la forma de los principales elementos sostenedores (vigas, elementos de la construcción de cuadros, anclas, coberturas continuas, elementos de paredes y cemento, elementos portadores).
  - 3) Forma de construcción de la unión de los elementos punteados (forma rígida con charnelas y su forma combinada).
  - 4) Según sus características cinemáticas forma un sistema estáticamente determinado o un sistema estáticamente indeterminado).
  - 5) Según la estructura de la construcción (de una capa ,de 2 capas y de muchas capas).
  - 6) Según las características de su enlace con el macizo (contacto y cohesión total, no hay una total cohesión por todo el contacto y no hay cohesión).
- ✓ Según las soluciones tecnológicas de construcción:
  - 1) Con elementos prefabricados (piedra, elementos metálicos, bloques etc.)
  - 2) Construcciones monolíticas.
  - 3) Con elementos prefabricados–monolíticas (por ej. con paredes monolíticas y la bóveda hecha con elementos prefabricados).
- ✓ Según sus características de deformación:
  - 1) Tipo de características de su deformación (con resistencia constante, con resistencia que crece linealmente y con resistencia que crece en forma no lineal).
  - 2) Según su rigidez (rígida, poco flexible, hasta 100 mm, flexibles hasta 300mm y las más flexibles cuando ceden más de 300 mm).
- ✓ Según su capacidad portadora:
  - 1) Construcciones protectoras (fortificación de recubrimiento, para la aislación, para proteger)
  - 2) fortificación sostenedora (de poca capacidad con capacidad portadora hasta 0.1 Mpa, de mediana capacidad de 0.11 a 0.3 Mpa, de alta capacidad de 0.31 a 1.0 Mpa y de muy alta capacidad portadora más de 1.0 Mpa).
  - 3) Según las características de manifestación de la capacidad portadora (por acciones de empuje, por el aumento de su resistencia, combinada).
- ✓ Según la forma de su construcción
  - 1) Por métodos habituales (no mecanizados y mecanizados)

2) por métodos especiales (fortificación de hincado, fortificación de descenso, bajo la protección del aire comprimido y otros).

### **Criterios para la Elección de tipo de fortificación**

Para la elección del tipo de fortificación a emplear se deben tener en cuenta una serie de factores, los que pueden tener un mayor o menor peso relativo, según la situación que se analice:

- ✓ Condiciones mecánico y geoestructurales existentes en el macizo.
- ✓ Forma y dimensiones de la sección transversal de la excavación.
- ✓ Su vida de servicio y uso.
- ✓ Grado de estabilidad del sistema macizo – excavación
- ✓ Carga pronosticada
- ✓ Presencia de agua y sus características.

### **1.3 SITUACIÓN ACTUAL EN EL MUNDO**

Se entiende como minería subterránea a la que se realiza por medio de obras y trabajos en el interior de la tierra tales como pozos, galerías, cámaras, túneles, socavones y planos para acceder a la masa de mineral y extraerla, sin tener que mover los estériles o materiales que recubren el yacimiento. Durante muchos años ha sido la imagen popular y poco positiva de la minería, pero ha sido ampliamente superada en cantidad y valor por los otros dos métodos de laboreo, el cielo abierto y los sondeos, dado que el coste de la inversión de capital resulta mucho más elevado.

La alta intensidad de capital exigido, el descenso en las productividades por el fuerte coste del personal, las dificultades de lograr una mecanización y automatización, la peligrosidad por el desconocimiento de las condiciones geomecánicas, la falta de vocación minera de la mayor parte de las demandas de trabajo, han ido reduciendo la aplicación de esta metodología a los casos de minerales muy valiosos como el oro, la plata y el platino.

Sin embargo es justo reconocer que en los últimos 10 años se ha producido un importante incremento de la productividad en la minería de interior a causa de la eliminación de dos o limitaciones, como eran las tradicionales vías férreas para el transporte y la madera para la entibación, que se han sustituido por otros materiales como los neumáticos para el rodaje y el acero de los pernos y las mallas de sostenimiento de techos y paredes de galerías.

Según la publicación ``Métodos de Explotación en Minería Subterránea``, por Roberto Oyarzun [12], la minería subterránea presenta mayores costes de

explotación que la de cielo abierto. A esto hay que sumarle las complicaciones asociadas a una menor capacidad de extracción del mineral económico (ver capítulo anterior) y mayores riesgos laborales. Se recurre a la explotación subterránea cuando la sobrecarga de estéril sobre la masa mineralizada es tal que su remoción hace inviable un proyecto minero. Digamos también, que bajo un punto de vista ambiental, la minería subterránea suele crear un impacto menor que una mina a cielo abierto.

Si bien los métodos de explotación de minería subterránea siguen siendo los tradicionales, en la minería bajo tierra hoy en día existen una clara tendencia enfocada en la seguridad, medio ambiente y en la eficiencia y productividad de esta.

Equipos utilizados actualmente en la gran minería subterránea:

- Jumbo de perforación
- Pala cargadora scoop
- camión articulado (damper)
- Mixer perfil bajo
- Grúa de levante
- Robochott

Los equipos citados anteriormente son los utilizados hoy en día en la gran minería subterránea, la ventaja de la utilización de estos equipos va dirigida principalmente a las personas que se dedican a este rubro laboral, por otra parte se puede realizar mayor producción en menos tiempo sin realizar daños tanto a seres humanos como el medio ambiente que los rodea.

A nivel mundial la necesidad por mejorar la eficiencia en el avance de túneles y optimizar el proceso mecanizado de las operaciones de instalación de los sistemas de fortificación, son aspectos claves que están marcando la pauta en la industria minera.

De ahí que la tendencia en el mediano plazo hacia la minería subterránea y la mayor profundidad en la exploración de yacimientos, especialmente de cobre por ejemplo en Chile se sustentan en el concepto de “Desarrollo rápido” que considera lineamientos para mejorar la eficiencia en la preparación y avance de excavaciones mineras. Otro aspecto relevante para las empresas que desarrollan sistemas de fortificación minera es promover la sustentabilidad, con el objeto de entregar mayor seguridad a los trabajadores.

De acuerdo a “SOSTENIMIENTO DE LABORES MINERAS Y/O CIVILES”, Por Javier Vallejos, profesor del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile y director académico del Magíster en Minería [4], Existen

diversos tipos de elementos de fortificación, los que cumplen fundamentalmente tres funciones. Primero, reforzar el macizo rocoso con el objeto de prevenir deslizamiento al interior de la roca; segundo, sostener los elementos de roca fracturados y tercero, retener los fragmentos de roca fracturada. Estos tres principios de estabilización del macizo rocoso dan lugar a un sistema de fortificación.

En explotaciones subterráneas es fundamental estimar los parámetros de diseño de la explotación que involucran, entre otros, el dimensionamiento de las excavaciones y el sistema de fortificación a emplear, que aseguren condiciones económicas y de seguridad aceptables.

Un referente de una minería en Sudamérica es Chile en donde según cifras oficiales del Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin, Chile), en los últimos años se ha tenido una disminución de la tasa de frecuencia de accidentes mineros. No obstante, dentro de esta industria, en el año 2012 ocurrieron 22 accidentes fatales, en los cuales 25 trabajadores perdieron la vida. Un 56% de las víctimas fatales durante ese año trabajaba en minería subterránea; de estos, un 28% correspondió a accidentes originados producto del desprendimiento de planchón y caídas de rocas.

Conforme a las últimas estadísticas de operación y gestión minera que se tienen hoy, un 13% de los accidentes ocurridos en el año 2011 se produjo por condiciones peligrosas de falta o fortificación inadecuada; esto por lo expuesto en “SOSTENIMIENTO DE LABORES MINERAS Y/O CIVILES”, Por Javier Vallejos, profesor del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile y director académico del Magíster en Minería [4]. Las estadísticas anteriores resaltan la importancia de la fortificación en prevenir accidentes y que los parámetros y métodos utilizados para el diseño de la fortificación podrían no reunir las condiciones óptimas de desempeño.

El desarrollo de la minería subterránea en el mundo es sinónimo de un mayor avance en la profundidad de exploración de yacimientos lo que trae consigo la necesidad de estudiar sistemas de fortificación que sean capaces de soportar cargas dinámicas provenientes de eventos sísmicos inducidos por la minería.

La fortificación en labores mineras constituye una importante contribución a la seguridad en labores subterráneas. Por lo tanto, los encargados de esta importante labor minera tienen una gran responsabilidad y deben estar seguros de que su trabajo esté bien hecho.

Bajo ciertas condiciones, los eventos sísmicos son capaces de generar una expulsión del material superficial hacia el interior de la excavación, provocando

pérdida de continuidad operacional y peligros a las personas y equipos. Este último fenómeno se conoce como estallido de roca (rockburst). El mayor desafío es diseñar y desarrollar un sistema de fortificación que sea óptimo en condiciones de carga estáticas y dinámicas, pero que a su vez sea atractivo operacionalmente y en su valor económico.

#### 1.4 SITUACIÓN ACTUAL EN EL ECUADOR

En la actualidad en el Ecuador no se realiza estudios referentes a la correcta instalación y utilización de sistemas de fortificación empleados en la minería subterránea.

El sur del Ecuador es considerado uno de los puntos más importantes para la extracción de minerales.

En 1982 las torrenciales lluvias dejaron expuesta la presencia de vetas de cuarzo con oro en la roca (figura 1) que anteriormente estaba cubierta y escondida por la vegetación ecuatorial en la zona de Ponce Enríquez, 15 Km al Nor-Este de Machala. Esto ha hecho posible un continuo incremento de lugares de explotación minera en el sector que trae consigo plazas de empleo por lo que se tiene que garantizar un cierto nivel de seguridad para los trabajadores, para lo cual es necesario disponer de medidas de protección colectiva y el uso de equipos de protección individual requeridos en las operaciones de excavaciones subterráneas.



**Figura 1: Vetas de cuarzo**

Como una de las medidas de seguridad más importantes es comprobar el sostenimiento, la estabilidad de techos y hastiales y el estado de la ventilación del entorno de trabajo.

Para análisis del nivel de seguridad en función del tipo de fortificaciones usado en nuestro medio se hace el estudio de una de las minas pertenecientes a la concesión minera SOMINUR CIA. LTDA. (Ver tabla 1). La mina de Liga de Oro, se encuentra dentro del “área minera Bella Rica”, con código minero 15.

**Tabla 1: Sociedades Mineras en el Cantón Ponce Enriquez. Tabla obtenida de ARCOM, agencia de regulación y control minero [1].**

SOCIEDAD	ESTADO O SITUACION
	Labores de mantenimiento, acceso y explotación eventual de rellenos.
Aurífera I y II	
AustroGold C. Ltda.	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
Beloro C.L.	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
Bola de Oro	Paralizada
Cisne I	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
Comimach S.A.	Planta de beneficio
Diablos Altos	Mantenimiento de Galerías
El Diamante	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
El Porvenir	Labores de rellenos
El progreso	Labores de rellenos
El Trébol	Explotación y mantenimiento.
Expausa (Bonanza)	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
Jorni S.A. (Tres ranchos)	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
La Esperanza	Labores de rellenos
La Primavera	Labores de rellenos
Los Polvos	Paralizada
Los Tayos	Paralizada
Primero de mayo	Labores de rellenos
Produmin S.A.	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
Promine	Planta de beneficio
Pueblo Nuevo	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
San Jorge II	Labores de mantenimiento y acceso
San Luis	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
San Vicente	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
Somilor S.A. (Liga de Oro)	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
Sominur	Explotación, extracción, beneficio y mantenimiento.
Unión Lojana	Labores de rellenos



De las minas indicadas en la tabla 1, ubicadas todas en el cantón Ponce Enriquez el ritmo de explotación dentro de cada una de ellas depende de factores como: La capacidad económica, el nivel de seguridad en el interior de mina, el número de frentes de trabajo, potencia y ley de las vetas, personal y horario de trabajo del personal.

En el caso particular de la mina Liga de Oro, perteneciente a la concesión minera SOMINUR CIA. LTDA., la seguridad está ligada a un sistema de fortificación constituido por perfiles de acero tipo UPN 80mm unido varillas de acero corrugado de 1" de diámetro mediante soldadura (figuras 2 y 3). Las varillas están ancladas a la roca en una profundidad variable de 1.2 a 1.6m.

Es importante indicar que las constantes filtraciones a través del macizo rocoso hace necesario el uso de una pintura anticorrosiva en los aceros.



**Figura 2: Fortificación común a lo largo de mina subterránea**



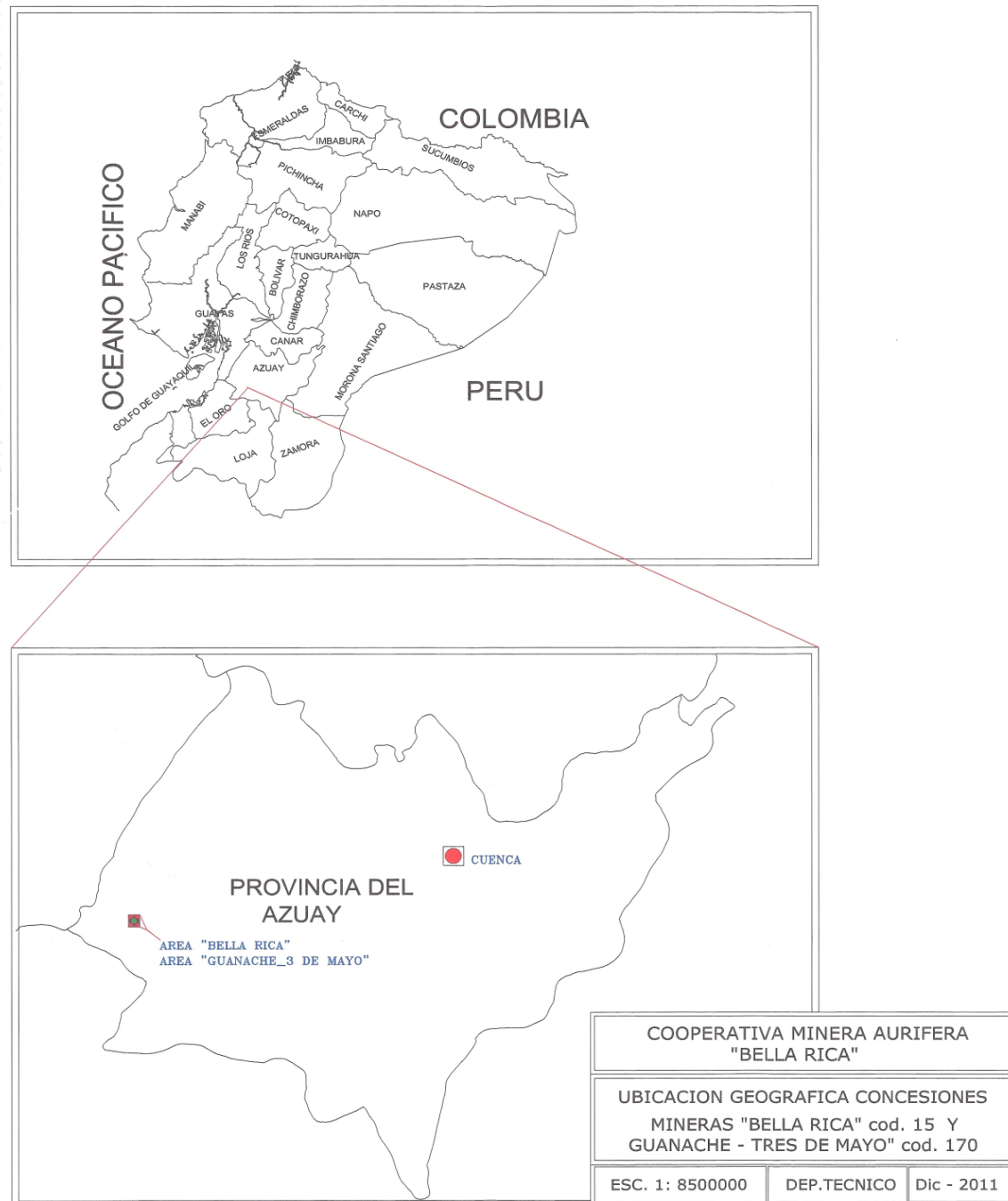
**Figura 3: Construcción de una Fortificación en un punto determinado de la mina subterránea**



## CAPITULO 2: DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Sociedad Minera Liga de Oro, SOMILOR S.A., forma parte de la Cooperativa de Producción Aurífera Bella Rica y está ubicado en la micro cuenca del Río Siete, límite provincial entre la provincia del Oro y Azuay.

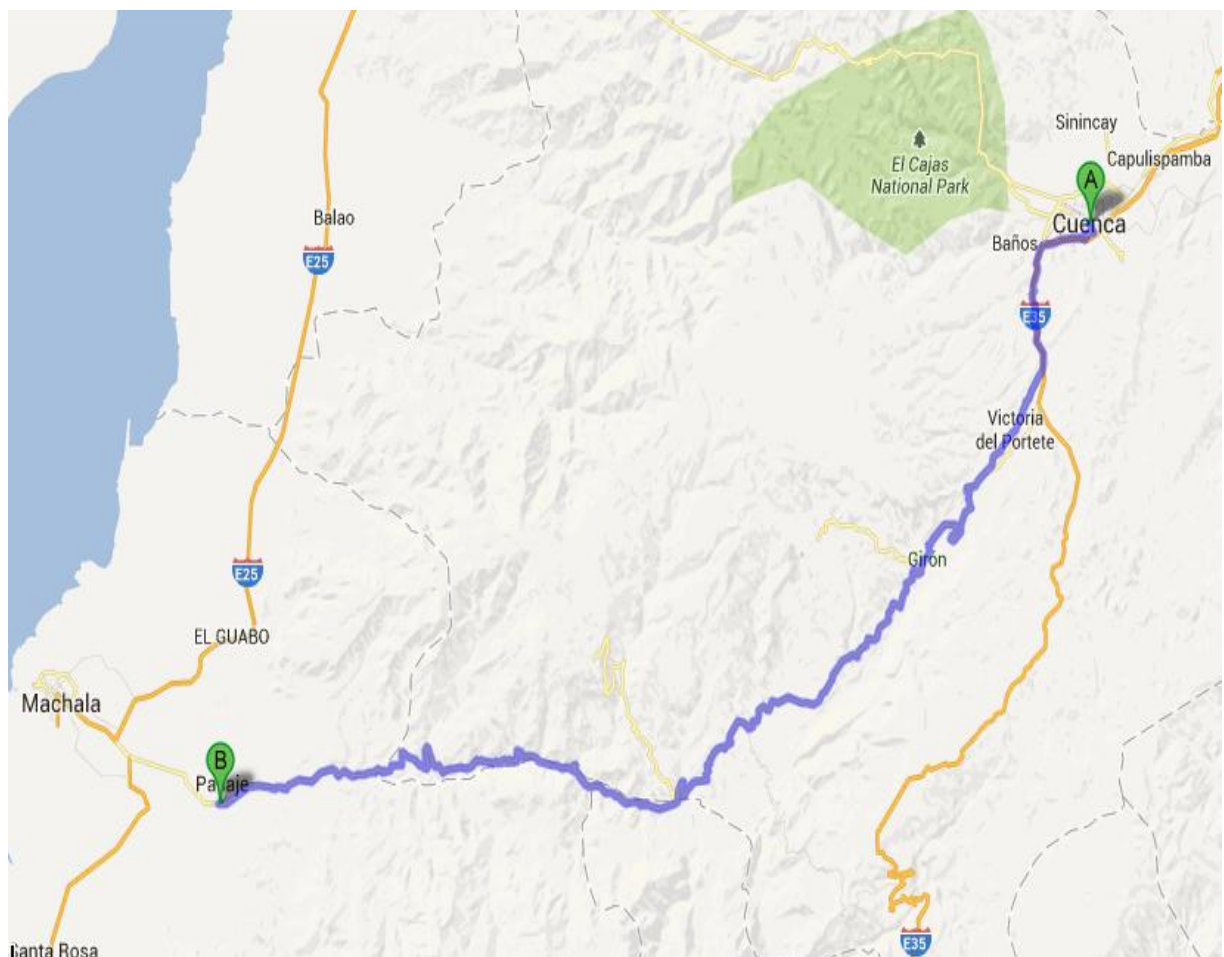


**Figura 4: Ubicación de la Mina Liga de Oro**

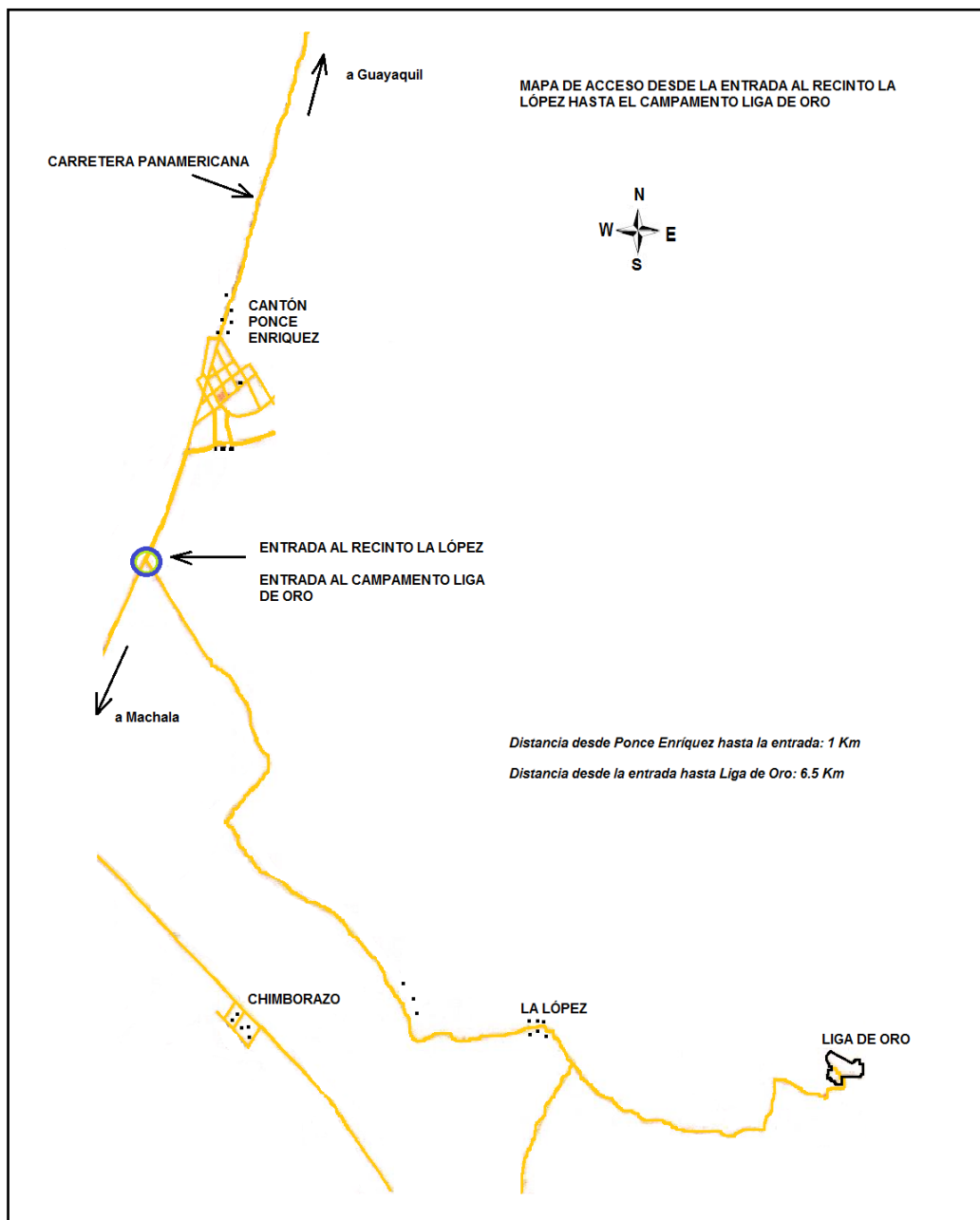
El área comprende 1360 hectáreas de concesión pertenecientes al Distrito Minero Bella Rica y dentro de este se encuentra la Sociedad Minera Liga de Oro SOMILOR S.A, que presenta elevaciones desde los 100 hasta los 1200 m.s.n.m.

## 2.2. ACCESIBILIDAD Y COMUNICACIÓN

Para llegar al campamento y la mina de SOMILOR, se hace un trayecto vía terrestre a lo largo de la ruta Cuenca-Pasaje-Ponce Enriquez y desde ahí 1km hasta la entrada al Recinto La López, desde donde a una distancia de aproximadamente de 6km a través de una vía de segundo orden se encuentra el campamento de la empresa SOMILOR S.A.



**Figura 5: Ruta desde Cuenca hasta Pasaje**



**Figura 6: Mapa de acceso desde el Cantón Ponce Enríquez al Rencito La López y hasta la mina Liga de Oro**

### 2.3 CLIMA

El predio donde se ubica la bocamina posee un clima de tipo monzónico, este tipo de clima corresponde las zonas de vida bosque muy seco tropical y el bosque húmedo pre montano, el primero se localiza entre las altitudes 150 y 300 msnm, su clima está caracterizado por una precipitación anual de entre 500 y 1000 mm y su temperatura media anual fluctúa entre 24 y 26°.

## 2.4 DESARROLLO SOCIOECONOMICO

Los habitantes de este sector tienen como principal actividad económica a la minería, los yacimientos auríferos localizados en Bella Rica, 24 de Enero, Pueblo Nuevo, El Paraíso, Muyuyacu, 3 de Mayo, San Gerardo, Naranjilla y Río Chico, son los sectores donde se encuentran asentados una gran cantidad de mineros.

También se considera importante a la agricultura como una segunda actividad a la que se dedican los habitantes del centro urbano y periferia de la Ponce Enríquez; se cultivan productos de clima tropical como: café, banano, cacao maíz, yuca, cítricos y toda clase de frutas tropicales.

Otras de las actividades económicas realizadas por los habitantes del sector es el comercio y dentro de esta actividad, el comercio al por menor es el más importante; el resto de la población, se encuentra ocupada en la rama de los servicios destacándose los servicios de hoteles y restaurantes, enseñanza, transporte, y servicio doméstico como los más representativos.

## 2.5 GEOLOGÍA

La determinación de la geología regional se realizó con el empleo del mapa geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 3° y 4° S escala 1:200.000; la publicación de junio del 2000 de la colección Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador: Depósitos Porfídicos y Epi – Mesotermiales relacionados con Intrusiones de las Cordilleras Occidental y Real, editado por PRODEMINCA.

## 2.6. GEOLOGÍA REGIONAL

La zona minera Ponce Enríquez, está localizada dentro del Subdistrito Machala–Naranjal, en la parte occidental del Distrito Azuay, contiene depósitos de cobre, oro, molibdeno en pórfidos y en vetas desarrollados dentro de rocas de caja volcánicas y que están espacialmente relacionados con pórfidos.

La unidad comprende basaltos toleíticos lávicos masivos y almohadillados con intrusiones básicas y cantidades subordinadas de volcanoclastitas, sedimentos pelágicos y rebanadas tectónicas de rocas ultramáficas. La base de esta unidad no está expuesta y, hacia el Este, está cubierta discordantemente por las rocas volcánicas subaéreas, de composición intermedia a silícea calco–alcalina del Grupo Saraguro (Eoceno Medio tardío ó Mioceno Inferior). El espesor de esta unidad aproximadamente es de más de 1 Km al Este de Ponce Enríquez. [5]



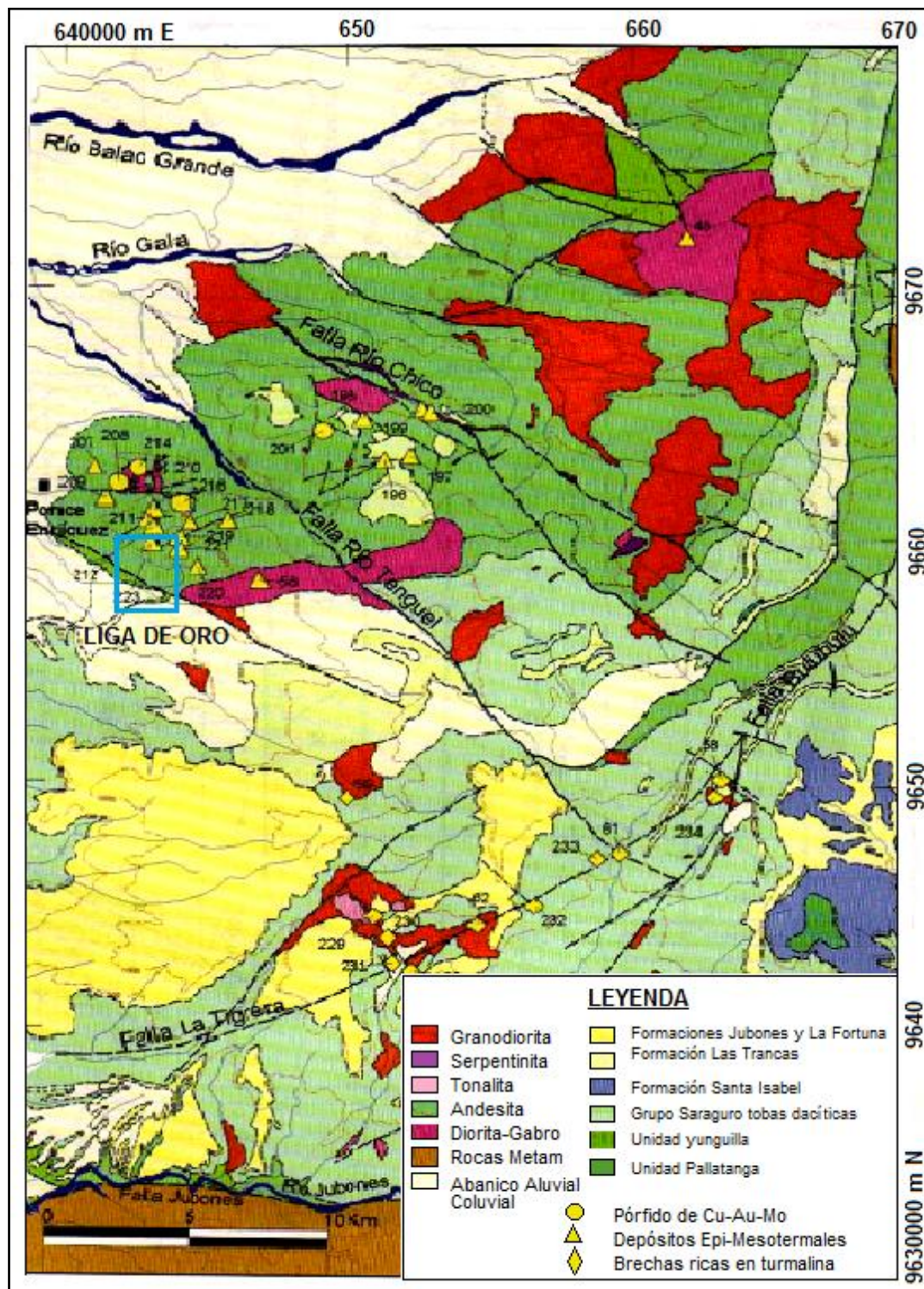


Figura 7: Mapa Geológico Regional

## 2.7. GEOLOGÍA LOCAL

Desde el punto de vista de la geología local, la mineralización está encajada en rocas andesíticas de la Unidad Pallatanga, rocas intrusivas formadas de fenocristales de plagioclasas y clorita dispuestos en una matriz afanítica o

finamente granulada de estructura microcristalina compuesta de magnetita, clorita y diseminaciones de pirita.

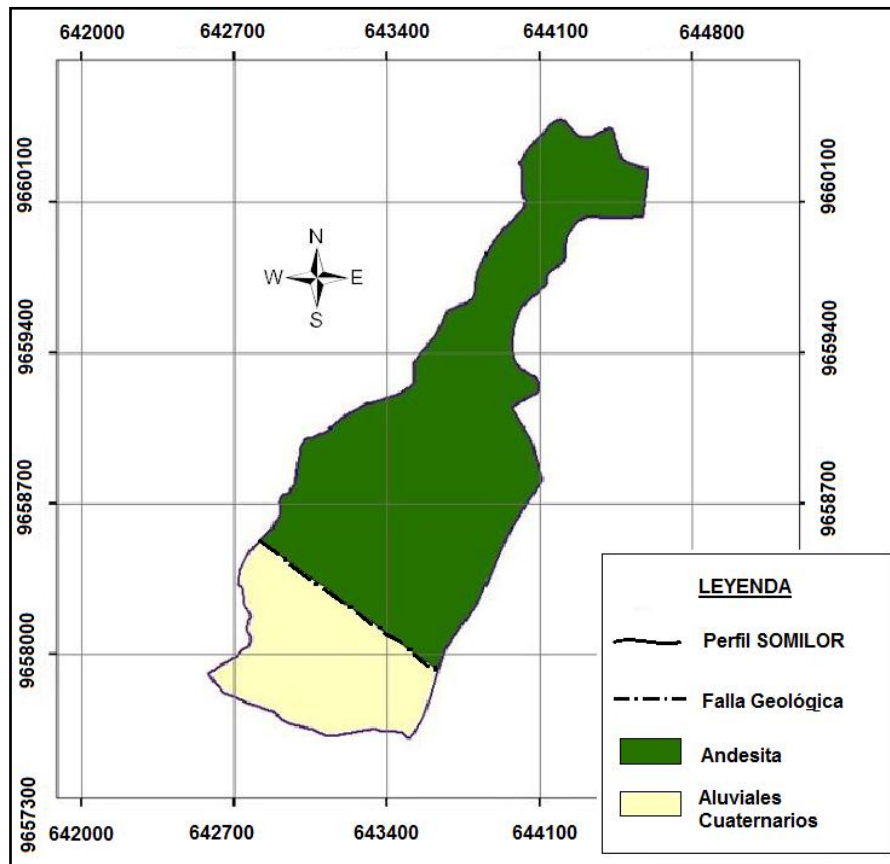


Figura 8: Geología Local de SOMILOR S.A.

## 2.8. GÉNESIS Y MINERALIZACIÓN

En “CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE LAS LABORES MINERAS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE FORTIFICACIÓN EN EL 5TO NIVEL DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA MINERA SOMILOR S.A.”, C. Lara, R. Reza. [5], se establece que las vetas se han originado a partir de fallamientos longitudinales (dirección predominante N – S) en la roca caja que han sido rellenadas con soluciones hidrotermales de naturaleza epi–mesotermal que contiene los siguientes minerales: pirita, calcopirita, pirrotina, arsenopirita, marcasita, galena, oro, cuarzo y carbonatos. Las vetas del yacimiento buzan hacia el Este con ángulo entre 20 y 80 grados. Su potencia no sobrepasa los 0,60 m.

En la mina Liga de Oro de se han determinado cinco estructuras: Vetilla, La Poderosa, Tortuga, Frente 11 y **Frente10**.



## 2.9 TECTÓNICA

Según la Agencia de Regulación y control Minero ARCOM, [1]., el campo mineral de Ponce Enríquez está fragmentado por fallas de dirección NW; el sector Gaby–Bella Rica está bordeada por las fallas Margarita por el SW y Río Tenguel por el NE. Estas fallas son esencialmente de edad cenozoica, pero han sido reactivadas periódicamente y dan lugar a pronunciadas expresiones geomorfológicas.

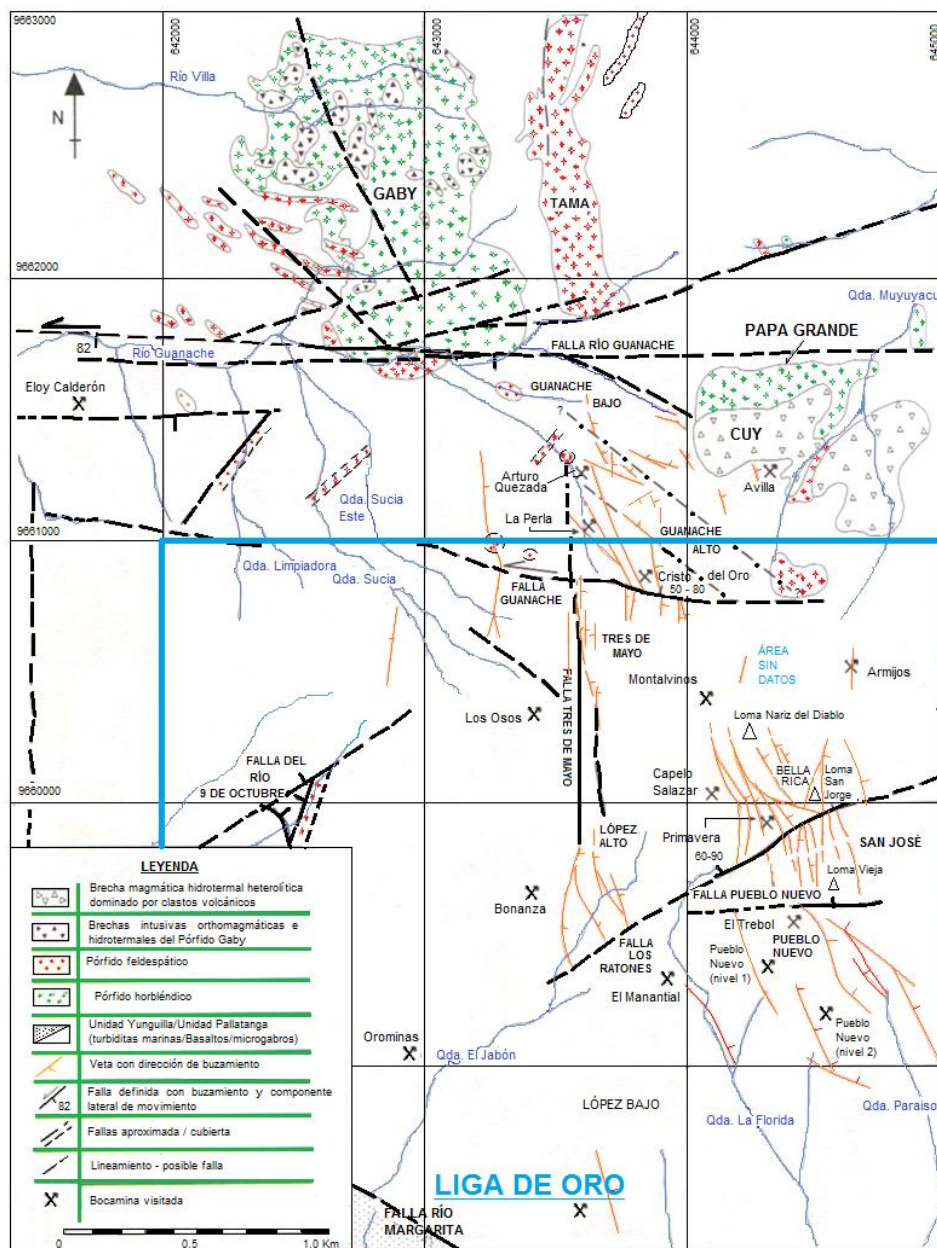
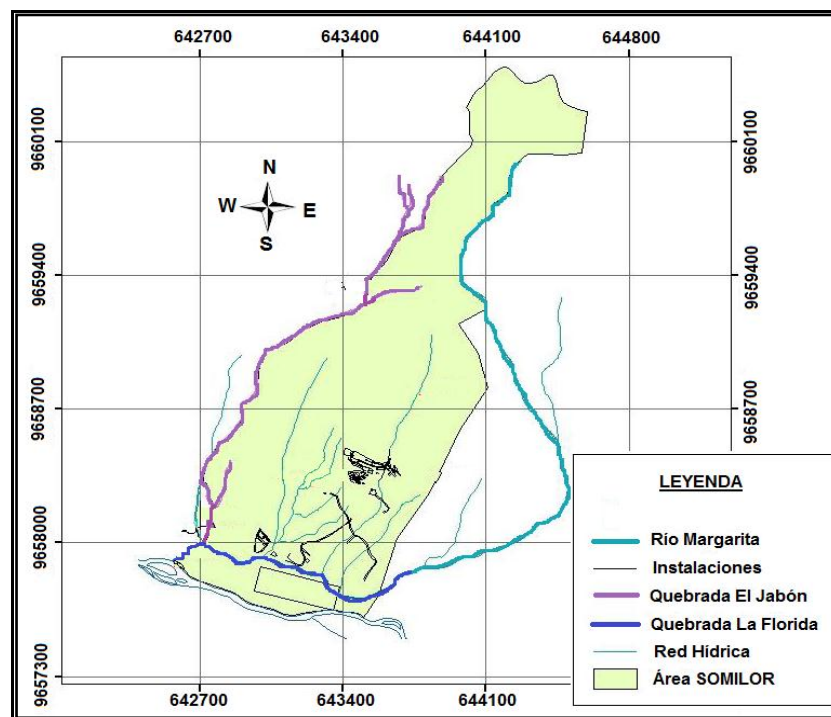


Figura 9: Mapa Tectónico de la zona

## 2.10 HIDROGRAFÍA

En la zona de estudio el agua que está presente es de carácter lineal (ríos y arroyos). De acuerdo a la densidad de corrientes y forma de la cuenca ésta es de textura media. los drenajes convergen en ángulos rectos en la Quebrada La Florida y esta a su vez desagua en el río Margarita dando lugar a la cuenca de drenaje rectangular, posiblemente controladas por las fracturas y las discontinuidades de las rocas del lecho del río. Esta forma de drenaje también es propia de una cubierta fina del suelo.

El uso del agua en esta región es principalmente para la agricultura, ganadería, el consumo humano y la minería.



**Figura 10: Mapa Hidrológico SOMILOR S.A.**



## CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DE LAS FORMAS DE SOSTENIMIENTO DE LAS EXCAVACIONES DEL SECTOR

### 3.1. PROPIEDADES FISICO – MECANICAS DE LAS ROCAS

Al iniciar un proyecto de construcción subterránea, se debe conocer las características que presentan el macizo rocoso y los problemas que pueden surgir en ciertas etapas del proyecto por las condiciones que tiene el macizo.

El tipo de roca existente en la zona es de característica andesitaclorítica en ciertos sectores y silisificada en otros.

Los datos que a continuación se exponen están basados en el estudio petrográfico realizado en la Escuela Politécnica Nacional en abril del 2005 [10]:

#### Descripción Macroscópica

Mediante el análisis realizado a dos muestras en el macizo por parte de la Escuela Politécnica Nacional en abril del 2005 [10], se tiene que:

Muestra A: La roca encajante situada en la mina tiene una coloración gris verdosa la cual presenta textura afanítica, estructura masiva y desordenada. La roca es muy consolidada con bordes filudos y superficies ásperas, además posee oxidaciones café claras en su superficie. Se observa principalmente agregados muy finos de pirrotina de color café y de brillo metálico, diseminados en la roca además de granos diseminados de pirita.



**Figura 11: Macroscopia (Muestra A)**

Muestra B: La textura de la roca es afanítica, su estructura masiva y desordenada; el color de la roca es gris verdoso; la roca es muy consolidada con bordes filudos. Como proceso de alteración esta la silisificación, posee vetillas rellenas de minerales ferrosos (pirrotina y pirita).



**Figura 12 Macroscopia (Muestra B)**

### **Características del mineral**

El mineral está constituido por vetas de cuarzo con minerales ferrosos como la pirita ( $\text{FeS}_2$ ), calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), arsenopirita ( $\text{AsFeS}$ ), pirrotina ( $\text{FeS}$ ). Con estos minerales existe la presencia de oro ( $\text{Au}$ ) libre y refractario, el mismo que se encuentra en varias concentraciones.

### **Peso específico**

Ha sido determinada en el laboratorio de la Empresa SOMILOR S.A. por el método del picnómetro [11], donde se obtiene un valor del peso específico de  $2.7 \text{ gr/cm}^3$ .

### **Compresión simple**

De los resultados de un ensayo a la compresión simple realizado por C. Lara-R. Reza. [5], se obtiene que la Resistencia a compresión simple del macizo es de  $96,3 \text{ MPa}$ .

De estos resultados obtenidos se concluye que

- Fortaleza de la Roca: A partir de la fórmula que relaciona la fortaleza de la roca y el valor de la resistencia a compresión simple de la misma se obtiene el valor del coeficiente de fortaleza de la roca.

$$f = \frac{R_c}{10}$$

De donde el coeficiente de fortaleza de la roca es de 9,6

### 3.2. CARACTERIZACION DEL MACIZO ROCOSO

Comprende un análisis de las características geológicas y geomecánicas del macizo rocosos en la mina Liga de Oro.

Estudio del agrietamiento: Como parte del estudio geomecánico del macizo rocoso, se realizó la observación visual para determinar el estado actual de las excavaciones y el macizo, permitiendo obtener una mayor caracterización de su comportamiento mecánico estructural.

**Tabla 2: Clasificación del macizo en clases y subclases**

RMR	MODIFICADO		ORIGINAL (Bieniawski)	
	CLASE	DENOMINACIÓN	DENOMINACIÓN	CLASE
100	Ia	Excelente	Muy buena	I
90	Ib	Muy buena		
80	IIa	Buena a muy buena	Buena	II
70	IIb	Buena a media		
60	IIIa	Media a buena	Media	III
50	IIIb	Media a mala		
40	IVa	Mala a media	Mala	IV
30	IVb	Mala a muy mala		
20	Va	Muy mala	Muy mala	V
10	Vb	Pésima		

Por medio de un estudio de la caracterización del macizo rocoso realizado en la mina Liga de Oro [5], se obtuvo que según la clasificación RMR (BIENIAWSKI) el macizo pertenece a la clase correspondiente entre la IIa y IIb con lo que se define como de denominación Buena.

### 3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO EMPLEADOS EN LA MINA LIGA DE ORO A LO LARGO DE LA VETA F-10

Los puntos a ser analizados y evaluados susceptibles a derrumbe y sujetos a sistemas de sostenimiento a lo largo de la mina veta F-10 están ubicados tomando como punto inicial la bocamina.

#### Fortificación 1

Ubicación: A 3000m de la bocamina.

Tipo de Fortificación: Hormigón proyectado, que al colocarse a presión sella las grietas eliminando la entrada de agua, además sirve como capa protectora de la roca. La capa delgada no ofrece soporte, pero agregándole fibras de alambre, se produce una textura que da una buena resistencia, para capas del orden de 5 centímetros.



**Figura 13: Fortificación de Hormigón Lanzado**

Forma de la sección de excavación: Paredes rectas y techo abovedado

Forma de la sección de Fortificación: Paredes rectas y techo abovedado

Roca del Sector: Roca andesitaclorítica

Grado de agrietamiento: Bajo

Presencia de agua: Nulo

Dimensiones de la fortificación:

- Altura: 2.5m
- Ancho: 5m

Otros: El área fortificada es empleada como comedor para la brigada de turno.

#### Fortificación 2

Ubicación: A 3050m de la bocamina.

Tipo de Fortificación: metálica

Forma de la sección de excavación: Paredes rectas y techo abovedado

Forma de la sección de Fortificación: Trapezoidal

Inclinación de los peones: 83 grados

Numero de cuadros: 10

Espaciamiento entre cuadros: 1m

Tipo de perfil empleado: UPN 80

Roca del Sector: Roca andesitaclorítica

Grado de agrietamiento: Medio (espaciamiento entre grietas 20cm)

Presencia de agua: Nulo

Dimensiones de la fortificación:

- Altura: 1.8m
- Ancho: 2.2m

Otros: Existe el uso de caravanas para no dar lugar a desplazamientos de la roca del techo. El material empleado como caravana son elementos de la fortificación de madera antes existente en el lugar.

Un peón es apoyado en un cimiento, mientras que en el otro extremo del techo no tiene peón y está soldada a una varilla de 1" anclada a una profundidad de 1.2m.

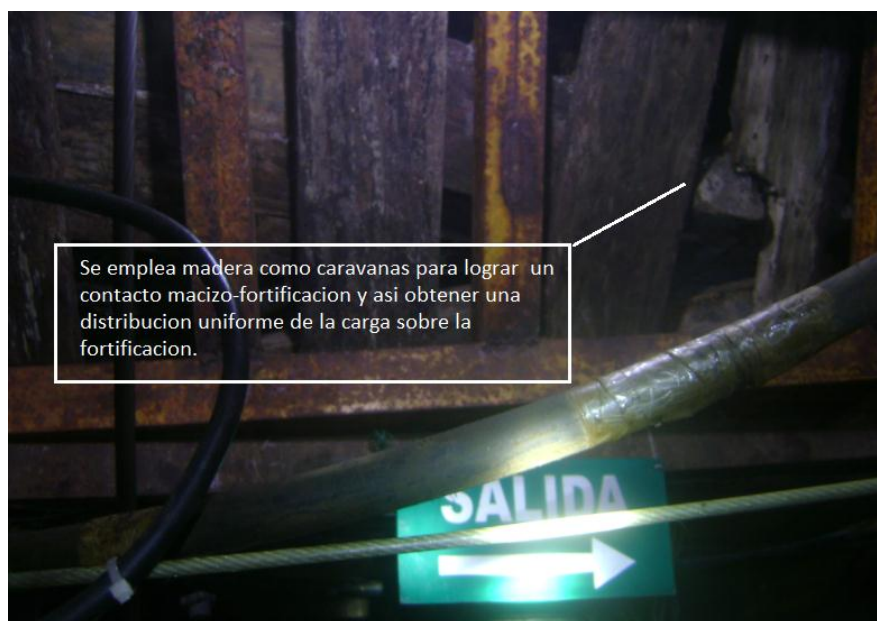
Las varillas están ancladas a presión en algunos casos y en otros anclada mediante un cementante (cemento).

Existe solo desprendimiento de material por el techo.

No hay carga lateral.



**Figura 14: Anclaje de varillas**



**Figura 15: Distribución de las caravanas**

Medida de protección a la fortificación: pintura anticorrosiva

Estado de la fortificación: Oxidación baja

### **Fortificación 3**

Ubicación: A 3110m de la bocamina.

Tipo de Fortificación: metálica

Forma de la sección de excavación: Paredes rectas y techo abovedado

Forma de la sección de Fortificación: Trapezoidal

Inclinación de los peones: 90 grados

Numero de cuadros: 7

Espaciamiento entre cuadros: 1m

Tipo de perfil empleado: UPN 80

Roca del Sector: Roca andesitaclorítica

Grado de agrietamiento: Alto, espaciamiento entre grietas aproximadamente 15 cm, gran caída de material.

Presencia de agua: Alto, existe gran cantidad de filtración a través de las grietas de las paredes de la sección de la excavación.

Dimensiones de la fortificación:

- Altura: Peón 2: 1.8m  
Peón 1: 1.6m
- Ancho: 2.2m

Medida de protección a la fortificación: pintura anticorrosiva

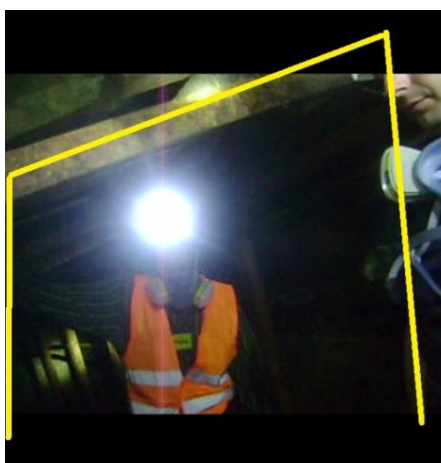
Estado de la fortificación: Oxidación alta





**Figura 16: Avanzado estado de Oxidación de los elementos de la fortificación**

Otros: Se usan caravanas de madera entre la fortificación y el macizo. Los peones están apoyados sobre cimientos de hormigón.



**Figura 17: Forma de sección de la Fortificación**

#### **Fortificación 4**

Ubicación: A 3150m de la bocamina.

Tipo de Fortificación: metálica

Forma de la sección de excavación: Paredes rectas y techo abovedado

Forma de la sección de Fortificación: Trapezoidal

Inclinación de los peones: 85 grados

Numero de cuadros: 8

Espaciamiento entre cuadros: 1m

Tipo de perfil empleado: UPN 80

Roca del Sector: Roca andesitaclorítica

Grado de agrietamiento: presencia de espejos de falla.

Presencia de agua: Alto en la superficie de la excavación

Dimensiones de la fortificación:

- Altura: Peón 2: 1.8m  
Peón 1: 0.5m
- Ancho: 2.2m



**Figura 18: Cimiento apoyado en la pared de la excavación**

Medida de protección a la fortificación: pintura anticorrosiva

Estado de la fortificación: Oxidación baja

Otros: Empleo de caravanas. Existe el uso de varillas de 1" empleada como ancla para el techo en el macizo rocoso.

Los peones están colocados sobre cimientos de hormigón.



**Figura 19: Unión de las anclas a los elementos de la fortificación mediante soldadura**





**Figura 20: Varillas empotradas al techo de la excavación, donde se suelda el techo de la fortificación**

### **Fortificación 5**

Ubicación: A 3185m de la bocamina.

Tipo de Fortificación: metálica

Forma de la sección de excavación: Paredes rectas y techo abovedado

Forma de la sección de Fortificación: Trapezoidal

Inclinación de los peones: 88 grados

Numero de cuadros: 11



**Figura 21: Fortificación metálica trapezoidal**

Espaciamiento entre cuadros: 1m

Tipo de perfil empleado: UPN 80

Roca del Sector: Roca andesitaclorítica

Grado de agrietamiento: Medio.

Presencia de agua: Alto.

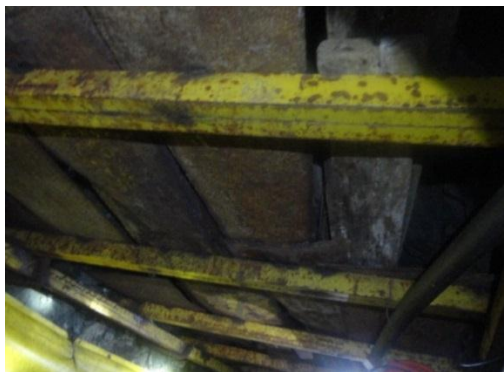
Dimensiones de la fortificación:

- Altura: 1.8m
- Ancho: 2.2m

Medida de protección a la fortificación: pintura anticorrosiva

Estado de la fortificación: Oxidación media.

Otros: Caravanas están colocadas tanto en el techo como en las paredes. Los rieles deteriorados se usan como caravanas (uso racional de los materiales)



**Figura 22: Distribución uniforme de las caravanas entre el macizo y la fortificación**

### **Fortificación 6**

Ubicación: A 3215m de la bocamina.

Tipo de Fortificación: pernos de anclaje

Numero de anclas: 3



**Figura 23: Fortificación de anclas**

Forma de la sección de excavación: Paredes rectas y techo abovedado

Roca del Sector: Roca andesitaclorítica

Grado de agrietamiento: Nulo.

Presencia de agua: Alto.

Medida de protección a la fortificación: pintura anticorrosiva

Estado de la fortificación: Bueno.

Otros: Para las anclas se emplea varillas corrugadas de 1 1/2" de diámetros. La profundidad de anclaje es de 1.2m.

### **Fortificación 7**

Ubicación: A 3300m de la bocamina.

Tipo de Fortificación: Hormigón armado

Resistencia del hormigón: 300kg/cm<sup>2</sup>

Forma de la sección de excavación: Paredes rectas y techo abovedado

Esquema de la fortificación: Losa de hormigón armado de espesor 15cm, apoyado sobre tres columnas de sección de 30x30cm. La distancia entre columnas es de 2m.



**Figura 24: Fortificación de Hormigón Armado**

Presencia de agua: baja

Altura: 2m

Otros: Este lugar es usado como sitio de cambio de dirección de los vagones.

### **3.4. ANALISIS Y VALORACION DE LOS SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO EMPLEADOS EN LA MINA LIGA DE ORO A LO LARGO DE LA VETA F-10**

El sistema de fortificación fue definido previa la correcta indagación y evaluación estructural del macizo rocoso y su diseño garantiza exigencias de producción como ofrecer una mínima resistencia al paso del aire, exigencias técnicas como resistencia, y sobretodo estas deben ser lo más económicas posibles en función de su tiempo de vida útil pero sin perder sus características de resistencia.

### **Fortificación 1 (3000m a partir de la entrada a la mina)**

Debido a las características del grado de agrietamiento bajo del macizo del sector, a la no presencia de agua y al coeficiente de fortaleza de 9.6 obtenido a partir de la resistencia a compresión simple  $R_c=96.3$  MPa (valor obtenido de “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de las labores mineras e implementación de un sistema de fortificación en el 5to nivel de producción de la empresa minera SOMILOR S.A.”, C. Lara, R. Reza.). El sistema de fortificación usado es el que se mejor se ajusta a las características del sitio.

### **Fortificación 2 (3050m a partir de la entrada a la mina)**

Esta fortificación presenta una mala colocación de las caravanas ya que no están bien distribuidas por tanto no hay un contacto adecuado entre el macizo y la fortificación por lo que no se produce una distribución uniforme de carga sobre la fortificación. Esto en parte se debe a la diferencia entre la forma de la sección de la excavación (abovedada) y la de la fortificación (trapezoidal).

El uso de un solo peón se debe a la estabilidad de la pared consiguiendo con ello una mayor área útil, además debido a la características de estabilidad que el macizo presenta en esta zona se concluye que es más conveniente otro tipo de fortificación.

### **Fortificación 3 (3110m a partir de la entrada a la mina)**

La presencia de agua en este punto causa la erosión los cimientos de hormigón sobre los cuales se apoyan los peones, esto además es causa del avanzado estado de oxidación de los elementos de la fortificación.

La forma de la sección de la fortificación está adaptada a la forma de la sección de la excavación en el lugar de manera que no responden a un diseño previo a la colocación de la fortificación.

Igual que en los casos anteriores se observa una mala colocación de las caravanas.

Por estos puntos analizados se concluye que este tipo de fortificación no es factible para este sitio de la excavación.

#### **Fortificación 4 (3150m a partir de la entrada a la mina)**

Los cimientos están colocados a la mitad de la altura de la excavación como medida preventiva contra la acción de oxidación contra los peones por la gran cantidad de agua existente en la base de la excavación. Esta medida preventiva aplicada en este sitio se considera eficiente.

Como deficiencia se ve que las caravanas están colocadas de una manera incorrecta por lo que no hay una distribución uniforme de carga sobre la fortificación.

#### **Fortificación 5 (3185m a partir de la entrada a la mina)**

Se observa que esta fortificación se ajusta a las exigencias del sector y además presenta una correcta distribución de las caravanas entre la fortificación y el macizo tanto en el techo como en las paredes.

El único inconveniente que se ve es que algunos cimientos están casi sin superficie de apoyo debido a la acción erosiva del agua.



**Figura 25: Avanzado estado de erosión sobre la base del cimiento**

#### **Fortificación 6 (3215m a partir de la entrada a la mina)**

Al existir solamente el desprendimiento de una capa de roca de otra más compacta se justifica el uso de la fortificación de anclas.

#### **Fortificación 7 (3300m a partir de la entrada a la mina)**

En cuanto a las características del macizo es una roca sana y no requiere de fortificación. La necesidad de un sistema de sostenimiento se debe a que aquí es el punto de cambio de dirección de los equipos de transporte y por lo tanto se van a producir un gran incremento de esfuerzos sobre macizo.

## **CAPITULO 4: PROPUESTAS DE FORTIFICACIÓN**

### **4.1. ANÁLISIS DE LAS VARIANTES DE FORTIFICACIÓN QUE SE PUEDEN EMPLEAR EN LAS CONDICIONES DE ESTUDIO**

En base a lo analizado en el capítulo anterior las fortificaciones 1, 6 y 7 responden a las exigencias de la zona donde fueron empleadas.

En cuanto a la fortificación 5 su condición se puede corregir con el incremento de la dimensiones (sobre todo la profundidad) de los cimientos de hormigón





sobre los cuales se asientan los peones, esto para prevenir la erosión por la presencia del agua sobre la base de los cimientos.

Las fortificaciones 2, 3 y 4 no cumplen con las exigencias del medio en donde estas están ubicadas, ya que estas al parecer fueron instaladas sin un previo diseño además de no haber sido considerados aspectos influyentes en la eficiencia de las mismas como el grado de agrietamiento del macizo, presencia de agua, transmisión de esfuerzos macizo-fortificación.

La similitud de las condiciones en los sitios donde se encuentran tales sistemas de sostenimiento (2, 3 y 4) permite emplear el diseño de un mismo tipo de fortificación en estos sitios. De acuerdo a esto se procede a analizar los tipos de fortificación que se pueden emplear en esta zona:

### **Fortificación In Situ de Hormigón:**

Ventajas: con respecto a la fortificación prefabricada.

- Se puede en mayor medida mecanizar su instalación
- Tienen menor costo
- Ofrecen menos resistencia al paso del aire

Desventajas:

- Es necesario utilizar encofrado en su instalación
- No puede contrarrestar la acción de la presión minera en el período inicial, inmediatamente después de su instalación
- La acción de aguas agresivas pueden provocar su afectación

### **Fortificación In Situ de Hormigón Armado:**

Ventajas:

- Puede soportar esfuerzos a Tracción
- Puede emplearse en excavaciones con cualquier forma de la sección transversal
- Puede emplearse en cualquier condición minero – geológica
- Alta capacidad portadora
- Posee buena cohesión con las rocas circundantes

Desventajas:

- Dificultad en su instalación
- Alto consumo de metal

### **Fortificación Prefabricada de Hormigón:**

Ventajas: con respecto a la fortificación In Situ.

- Cuando se emplea esta fortificación puede prescindirse del uso de la fortificación temporal
- Los elementos de la fortificación se preparan, como norma, en fábricas, lo que garantiza su alta calidad y su producción mecanizada
- Esta fortificación puede asimilar la acción de la presión minera inmediatamente después de instalada

Desventajas:

- Alta laboriosidad de su instalación
- Elevado costo

### **Fortificación Prefabricada de Hormigón Armado:**

Ventajas:

- Se puede instalar de forma fácil y rápida, conjuntamente con la realización de otros trabajos en el frente

Desventajas:

- Gran peso de los elementos y el alto consumo de metal
- Preparación compleja

### **Fortificación de Piedra:**

Ventajas:

- Se emplea en excavaciones que tengan una larga vida de servicio
- Este tipo de fortificación tiene una forma continua, compacta y rígida
- Posee una alta resistencia y durabilidad
- Simplicidad en su preparación e instalación
- Incombustibilidad

Desventajas:

- A causa de que los elementos de piedra poseen poca resistencia a los esfuerzos a tracción, esta fortificación se hace dándole una forma tal que sobre sus elementos solo actúen esfuerzos a compresión.
- La presión minera que recibe la bóveda es transmitida a las paredes y a las rocas laterales siendo esta la razón de que sea imprescindible un buen relleno detrás de la fortificación.

### **Fortificación de Hormigón Lanzado:**

Ventajas:

- Es una construcción universal.- se puede emplear sola o en combinación con otros tipos de fortificación, como fortificación permanente o temporal.



- En el proceso de conformación de la fortificación la mezcla de hormigón penetra en los poros y grietas de la superficie del macizo fortaleciéndolo en un espesor determinado.
- El gunitado, incluso en capas de poco espesor, protege a las rocas desnudas de la acción de los agentes externos y como resultado de esto las rocas conservan sus cualidades iniciales un largo periodo de tiempo.
- Con el empleo del gunitado se puede reducir a la mitad el espesor de la fortificación, en comparación con la de hormigón monolítico.
- Se alcanza un alto nivel de mecanización en el proceso de construcción de la fortificación.
- Se puede utilizar en calidad de material para garantizar la impermeabilidad ante el agua de diferentes obras.
- Esta fortificación cuesta de un 30 a un 50% menos que las otras y con su empleo se puede reducir la sección de laboreo de la excavación entre un 10 y un 20%

**Desventajas:**

- La tecnología actual del gunitado no garantiza la obtención de una superficie totalmente lisa en el interior de las excavaciones.
- Durante la realización de los trabajos de fortificación se forma una gran cantidad de polvo en el frente.
- Durante su construcción se pierde entre un 20 y un 30% de la mezcla de hormigón a consecuencia de su caída.

## **4.2 FUNDAMENTACIÓN Y DISEÑO DE LA FORTIFICACIÓN PROPUESTA**

Las Fortificaciones 1 y 7 son usadas más con el objetivo de mejorar el ambiente (prevenir caída de material menor, mas no soportar desprendimientos de grandes bloques ) debido a que son lugares donde existe una concentración de un cierto número de personas al tratarse de un sitio de descanso y cambio de dirección del tren de cargas respectivamente, por tanto su ubicación fue determinada en función de un previo estudio de las características geo mecánicas del macizo (es decir están en puntos donde las características del macizo son las mejores)., La fortificación 6 (de anclas) es la que más se ajusta a las exigencias del lugar y por ende se justifica su uso al igual que en la fortificación 5 (solo se requiere una medida de protección en la base de la misma).

Una fortificación de madera no es aplicable debido a la gran cantidad de humedad existente lo que tiende a debilitar con el tiempo los elementos de

madera, aspecto muy importante ya que la galería F-10 está a una profundidad de cerca de 523m.

En los puntos 2, 3 y 4 donde se requiere de una medida de sostenimiento eficiente, se analiza que debido a que el macizo está clasificado como de buena calidad y la carga que actúa sobre él es pequeña, la mina subterránea demanda de una fortificación de baja capacidad portadora, por lo que es aplicable en estas condiciones el tipo de sostenimiento de hormigón lanzado, ya que además ofrece un menor costo con respecto a otros tipos de fortificaciones.

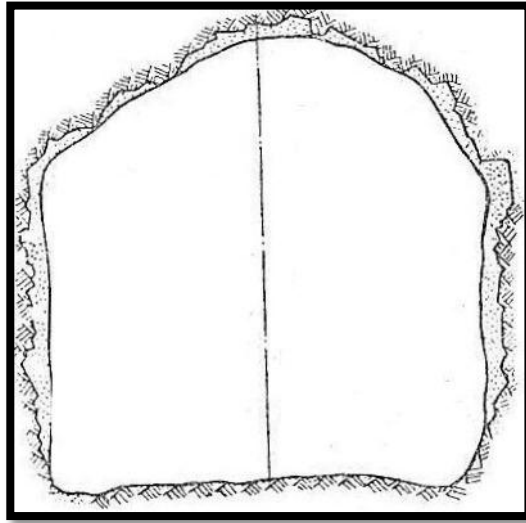
El tipo de fortificación elegida se justifica con el hecho de que se debe de disponer de sistemas que minimicen el uso de material de acuerdo a la geometría de la excavación, que sean fáciles de instalar, que posean una durabilidad de acorde con la vida de servicio de la excavación y que permitan acortar el ciclo de fortificación mediante la automatización. Esto permite minimizar la exposición de personal a los peligros inherentes asociados a la actividad de excavación y aumentar la productividad.

#### 4.2.1. DISEÑO DE FORTIFICACIÓN PROPUESTA

A continuación se detalla el diseño de la fortificación propuesta para el tramo analizado (fortificaciones 2,3,4).

**Tabla 3: Valores empleados para el diseño de la fortificación**

Tabla de Datos		
Denominación	Valor	Unidad
Vida de servicio	5	años
Fortaleza de la Roca	9.6	
Masa volumétrica	2700	Kg/m <sup>3</sup>
Ancho de la excavación	2.5	m
Altura de la fortificación	2.5	m



**Figura 26: Esquema de una fortificación protectora de hormigón lanzado**

El gunitado en forma independiente se puede emplear si se cumple la siguiente condición:

$$\frac{\gamma_v \cdot H}{R_c} \leq 0.25 \quad (6)$$

Siendo:

$\gamma_v$  Masa volumétrica de la roca (Kg/m<sup>3</sup>)

$H$  Profundidad de la excavación (m)

$R_c$  Resistencia lineal de la roca a compresión (Kg/m<sup>2</sup>)

$$\frac{\gamma_v \cdot H}{R_c} = \frac{2700 \cdot 523}{9819867,13} = 0.14 \leq 0.25$$

Por lo que cumple la condición y es aplicable este tipo de fortificación de manera independiente.

#### **Elección del tipo de cemento:**

Para la obtención de hormigones de 20 a 40 MPa de resistencia (que son los que se recomiendan utilizar para el gunitado) se emplean cementos de rápido endurecimiento.

**Tabla 4: Características de los Cementos utilizados en el Gunitado**

Tipo de cemento	Condiciones de empleo	Condiciones en los que no se permite su empleo
Portland Normal	Rocas estables y excavaciones secas.	Cuando hay afluencia de aguas agresivas.
Pórtland de rápido crecimiento	Rocas débiles inestables y caída de agua en la excavación.	Ídem.
Pórtland con aceleradores del proceso de fraguado	Cualquier roca y excavaciones con agua. Cuando se colocan capas de hormigón de gran espesor.	Ídem.
Puzolanico y Pórtland de Escoria	Rocas muy fuertes y estables. Excavaciones secas	En caso de cambios de regímenes de temperatura en el macizo.
Estable ante Sulfatos	En casos de aguas agresivas.	Cuando no hay aguas agresivas.
De rápido fraguado	En lugares de salida de agua para tapar las grietas	En los casos restantes.

De acuerdo a las condiciones del sector a fortificar y a la presencia de agua, de la tabla anterior elegimos el tipo de cemento de fraguado rápido.

Según la norma ASTM C191 Método de Prueba Estándar para el Tiempo de Fraguado del Cemento Hidráulico por medio de Vicat Needle (Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle) [13], la resistencia a compresión del cemento de rápido fraguado es de 41.3 MPa.

Se considera según la experiencia práctica que la fortificación de mayor calidad se obtiene para relaciones a/c (agua/cemento) que estén entre 0.38 y 0.43, de donde tomamos  $a/c = 0.4$

En forma aproximada la resistencia de la fortificación de hormigón lanzado a los 28 días de construida puede determinarse en función de relación a/c por la expresión:

$$R_f = \frac{\alpha R_c}{a/c} \text{ MPa}$$

Siendo:

$R_c$  resistencia del cemento, MPa = 41.3

$\alpha$  coeficiente que se toma de 0.3 - 0.4, donde tomamos el valor de 0.3

De donde:

$$R_f = 30.97 \text{ MPa}$$

### Cálculo de la Fortificación de Hormigón Lanzado

Un cálculo más exacto de la fortificación de hormigón lanzado se puede hacer empleando la expresión:

$$e = \frac{0.35L}{\sigma} \sqrt{\frac{P}{M_T R_T}}$$

Siendo:

$L$  Ancho de la excavación (m) = 2.5

$P$  Carga de cálculo producida por la acción de la presión actuante (MPa) = 13.85

$M_T$  Coeficiente que depende de las condiciones de trabajo de la fortificación, se recomienda tomar de 0.8

$R_T$  Resistencia de cálculo del gunitado a la tracción (MPa) = 6.19

$\sigma$  Resistencia de la roca a la tracción, se considera un 10% de la resistencia a la compresión de la roca (MPa) = 9.63

De donde:

$$e = \frac{0.35 * 2.5}{9.63} \sqrt{\frac{13.85}{0.8 * 6.19}}$$

$$e = 0.15\text{m} = 15\text{cm}$$

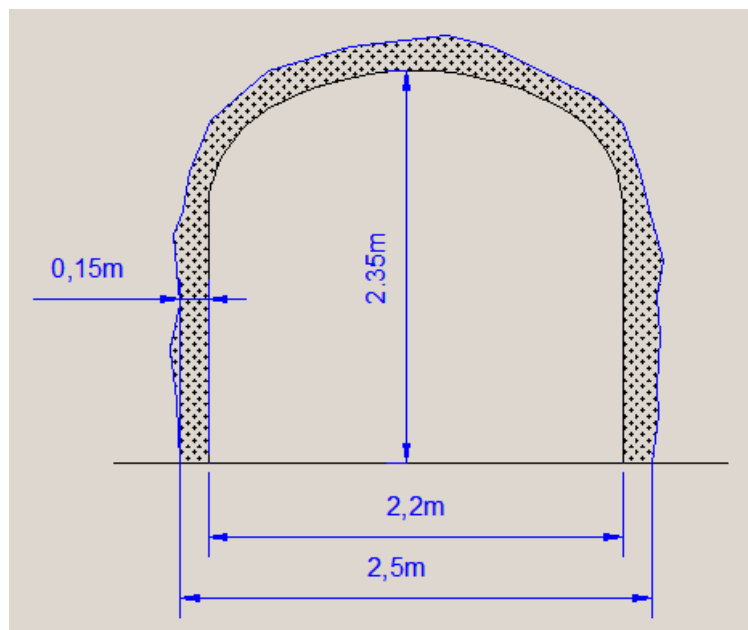


Figura 27: Sección de la fortificación de hormigón lanzado

## CONCLUSIONES

- Se obtuvo que según la clasificación RMR (BIENIAWSKI) el macizo pertenece a la clase correspondiente entre la IIa y IIb con lo que se define como de Buena clase.
- Se realizó una evaluación de las fortificaciones usadas en la mina y se concluyó que:
  - Hasta una longitud de 3000m, a partir de la bocamina las características favorables del macizo no hacen necesario el empleo de ningún tipo de fortificación.
  - Las fortificaciones 1, 6 y 7 satisfacen las condiciones del medio en que están instaladas.
  - La fortificación 5 sólo necesita de medidas correctivas.
  - Las fortificaciones 2, 3 y 4 no son adecuadas y en sus sectores debe proponerse otro tipo de fortificación.
- El tipo de fortificación que más se ajusta a las condiciones del macizo en los puntos 2, 3 y 4 es la fortificación de hormigón lanzado con un espesor de 15cm, con un tipo de cemento empleado de fraguado rápido ( $R_c=41.3$  MPa) y una relación agua-cemento de 0.4

## RECOMENDACIONES

- En la fortificación 5 como medida correctiva se sugiere el incremento de las dimensiones de los cimientos de hormigón sobre los que se apoyan los peones.
- Para la obtención de hormigones de 20 a 40 MPa de resistencia (que son los que se recomiendan utilizar para el gunitado) se emplean cementos de rápido endurecimiento, triturado muy finamente con un contenido aumentado de yeso y aluminato de calcio.
- Al tratarse de un macizo de buena calidad no se requiere del empleo de más de una capa de hormigón lanzado.
- Un gran significado tiene a la hora de construir la fortificación de hormigón lanzado la humedad de los áridos, la que según normas no debe sobrepasar el 5%.

## BIBLIOGRAFIA



- **[1]** ARCOM, Agencia de regulación y control minero
- **[2]** <http://www.pentaka.com/productos/perfil-c>
- **[3]** Apuntes de clases, Fortificación de excavaciones subterráneas, Dr. Roberto Blanco Torrens
- **[4]** SOSTENIMIENTO DE LABORES MINERAS Y/O CIVILES, Por Javier Vallejos, profesor del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile y director académico del Magíster en Minería.
- **[5]** “CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL DISEÑO DE LAS LABORES MINERAS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE FORTIFICACIÓN EN EL 5TO NIVEL DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA MINERA SOMILOR S.A.”, C. Lara, R. Reza.
- **[6]** <http://www.geomecanicacusco.galeon.com/productos2569196.html>
- **[7]** Riegos en la Minería Subterránea, Erik Muñoz del Pino, Chile., Abril del 2002
- **[8]** Manual de Minería, Estudios Mineros del Perú.
- **[9]** <http://yuverminas.blogspot.com/>, “Fortificación de minas”
- **[10]** Estudio petrográfico realizado en la Escuela Politécnica Nacional en abril del 2005
- **[11]** Ensayo de peso específico realizado en el laboratorio de la Empresa SOMILOR S.A. por el método del picnómetro.
- **[12]** [http://www.aulados.net/Geologia\\_yacimientos/Geologia\\_Minas/Metodos\\_explotacion\\_subte.htm](http://www.aulados.net/Geologia_yacimientos/Geologia_Minas/Metodos_explotacion_subte.htm)
- **[13]** [http://www.quikrete.com/espanol/PDFs/DATA\\_SHEET-QuickSetting-1240.pdf](http://www.quikrete.com/espanol/PDFs/DATA_SHEET-QuickSetting-1240.pdf)